

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-008436

(43)Date of publication of application : 12.01.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 09-344006

(71)Applicant : HYUNDAI ELECTRON IND CO LTD

(22)Date of filing : 28.11.1997

(72)Inventor : KIN KOJO

(30)Priority

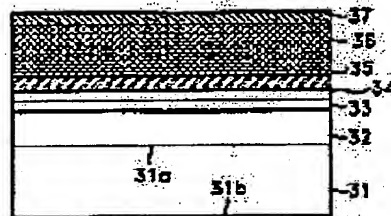
Priority number : 96 9677721 Priority date : 30.12.1996 Priority country : KR

## (54) INVERTED MESA RIDGE WAVEGUIDE LASER DIODE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize an inverted mesa ridge waveguide laser diode which is capable of easily generating laser rays in a single mode and lessened in contact resistance and series resistance by a method, wherein an inverted mesa ridge whose lower part is larger than a waveguide control layer in width is provided, and a second conductivity-type clad layer and a second conductivity-type contact layer are successively laminated thereon.

SOLUTION: A P-InGaAsP waveguide control layer 35 is formed, so as to selectively regulate the waveguide of a P-InP waveguide layer 34 in width, and a P-InP clad layer 36 and a P-InGaAs contact layer 37 are successively formed thereon. The waveguide is selectively regulated in width by the P-InGaAsP waveguide control layer 35, so that the upper part and lower part of an inverted mesa can be enlarged in width, when the inverted mesa is formed. Therefore, a laser diode of this constitution is capable of easily generating single mode laser rays and lessened in contact resistance and series resistance. By this setup, the laser diode is lessened in heat release value during operation and enhanced in the output power.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.11.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 11.01.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-8436

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>  
H 0 1 S 3/18

識別記号

F I  
H 0 1 S 3/18

審査請求 有 請求項の数20 FD (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-344006

(22) 出願日 平成9年(1997)11月28日

(31) 優先権主張番号 1 9 9 6 P 7 7 7 2 1

(32) 優先日 1996年12月30日

(33) 優先権主張国 韓国 (K R)

(71) 出願人 591024111

現代電子産業株式会社

大韓民国京畿道利川市夫鉢邑牙美里山136  
- 1

(72) 発明者 金 昂 序

大韓民国 京畿道 利川市 夫鉢邑 茂村  
里 166-18

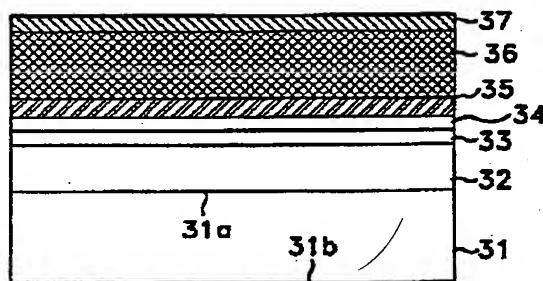
(74) 代理人 弁理士 荻藤 栄一

(54) 【発明の名称】 逆メサリッジ導波型レーザダイオード及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 単一モードのレーザを容易に発生させることができるとともに、コンタクト抵抗及び直列抵抗を減少させることのできる逆メサリッジ導波型レーザダイオード及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 第1導電型化合物半導体基板と、基板の上面に順次形成された第1導電型バッファ層と、活性層及び第2導電型導波層と、導波層上に形成され第2導電型導波路制御層と、導波路制御層の幅より下部幅の広い逆メサリッジ形状を有しつつ導波路制御層上に積層された第2導電型クラッド層及第2導電型コンタクト層と、逆メサリッジ上部の前記コンタクト層を露出させつつ逆メサリッジを保護するため基板上に形成された保護膜と、逆メサリッジの両側部位を充填するために保護膜上に形成されたポリイミド層と、コンタクト層の露出された部分とコンタクトしつつ基板上に形成された第2導電型オーミック金属層と、基板の下面に形成された第1導電型オーミック金属層とを備える。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 上面と下面とを有する第1導電型化合物半導体基板と、前記基板の上面に順次形成された第1導電型バッファ層、活性層及び第2導電型導波層と、前記導波層上に形成され、所定の幅をもつ第2導電型導波路制御層と、前記導波路制御層の幅より下部幅の広い逆メサリッジ形状を有するとともに前記導波路制御層上に順次積層された第2導電型クラッド層及び第2導電型コンタクト層とを備えることを特徴とする逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項2】 前記逆メサリッジ上部の前記コンタクト層を露出させつつ前記逆メサリッジを保護するために前記基板上に形成された保護膜と、前記逆メサリッジの両側部位を充填するために前記保護膜上に形成されたポリイミド層と、前記コンタクト層の露出された部分とコンタクトしつつ前記基板上に形成された第2導電型オーミック金属層と、前記基板の下面に形成された第1導電型オーミック金属層とをさらに備えることを特徴とする請求項1記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項3】 前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.3 $\mu$ mの発振波長を有することを特徴とする請求項1記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項4】 前記化合物半導体基板はN<sup>+</sup>-InP層であり、前記バッファ層はN-InP層であり、前記活性層はU-InGaAsP層であり、前記導波層はP-InP層であり、前記導波路制御層はP-InGaAsP層であり、前記クラッド層はP-InP層であり、前記コンタクト層はP<sup>+</sup>-InGaAs層であることを特徴とする請求項3記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項5】 前記導波路制御層の物質波長は1.1 $\mu$ m乃至1.3 $\mu$ mであることを特徴とする請求項4記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項6】 前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.55 $\mu$ mの発振波長を有することを特徴とする請求項1記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項7】 前記導波路制御層はInGaAsP層であり、その物質波長は1.3 $\mu$ m乃至1.55 $\mu$ mであることを特徴とする請求項6記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項8】 前記基板はGaAs系列であることを特徴とする請求項1記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項9】 前記導波路制御層は前記活性層より低い屈折率と高いバンドギャップエネルギーをもつ物質であることを特徴とする請求項8記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオード。

【請求項10】 上面と下面とを有する第1導電型化合物半導体基板の上面に、第1導電型バッファ層、活性層、第2導電型導波層、第2導電型導波路制御層、第2

導電型クラッド層及び第2導電型コンタクト層を順次形成する段階と、前記コンタクト層及びクラッド層をエッチングして上部及び下部が所定の幅をもつ逆メサリッジを形成する段階と、前記逆メサリッジ下部の幅より狭い幅をもつように前記導波路制御層を選択的にエッチングする段階とを含むことを特徴とする逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項11】 前記逆メサリッジを保護するために前記基板上に保護膜を形成する段階と、前記逆メサリッジの両側のエッチング部位を充填するように逆メサリッジの両側の保護膜上にポリイミド層を形成する段階と、前記逆メサリッジ上部の前記コンタクト層が露出されるように前記保護膜を一部除去する段階と、前記コンタクト層の露出された部分とコンタクトするように前記基板上に第2導電型オーミック金属層を形成する段階と、前記基板の下面に第1導電型オーミック金属層を形成する段階とをさらに備えることを特徴とする請求項10記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項12】 前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.3 $\mu$ mの発振波長をもつことを特徴とする請求項10記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項13】 前記化合物半導体基板はN<sup>+</sup>-InP層であり、前記バッファ層はN-InP層、前記活性層はU-InGaAsP層、前記導波層はP-InP層、前記導波路制御層はP-InGaAsP層、前記クラッド層はP-InP層、前記コンタクト層はP<sup>+</sup>-InGaAs層から形成されることを特徴とする請求項12記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項14】 前記導波路制御層の物質波長は1.1 $\mu$ m乃至1.3 $\mu$ mであることを特徴とする請求項13記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項15】 前記逆メサリッジを形成する段階において、前記コンタクト層のエッチングはH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いたウェットエッチングで進行することを特徴とする請求項13記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項16】 前記逆メサリッジを形成する段階において、前記クラッド層のエッチングはHBrとH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いたウェットエッチングで進行することを特徴とする請求項13記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項17】 前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.55 $\mu$ mの発振波長をもつことを特徴とする請求項10記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項18】 前記導波路制御層はInGaAsPであり、その物質波長は1.3 $\mu$ m乃至1.55 $\mu$ mであることを特徴とする請求項17記載の逆メサリッジ導波

型レーザダイオードの製造方法。

【請求項19】 前記基板はGaAs系列であることを特徴とする請求項10記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【請求項20】 前記導波路制御層は前記活性層より低い屈折率と高いバンドギャップエネルギーをもつ物質であることを特徴とする請求項19記載の逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光子素子及びその製造方法に係り、特に逆メサリッジ導波 (Reverse Mesa Ridge Waveguide) 型レーザダイオード及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 レーザダイオードは電流が印加されることによりレーザ光を出力するもので、光通信システムにおける光信号発生源として、また、計測装置、情報機器及びポインタなどの光源として用いられている。

【0003】 図6は従来の正メサリッジ導波 (Forward Mesa Ridge Waveguide) 型レーザダイオードを示す断面図である。図6に示すように、N型基板1上に、N型バッファ層2、活性層3、P型導波層4、エッチング停止層5、P型クラッド (clad) 層6及びP型コンタクト層7が、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 技術によって順次形成される。前記コンタクト層7及びクラッド層6が正メサ状にエッチングされて正メサリッジが形成される。保護膜として作用する酸化膜8が、正メサリッジの上部表面が露出するように基板の全面に均一に形成される。露出された正メサリッジの上部とコンタクトするように、P型オーミック金属層9が基板上に形成され、この基板1の下面にN型オーミック金属層10が形成される。

【0004】 このような正メサリッジ導波型レーザダイオードの制作は比較的容易である反面、導波路の幅が広いために多重モードのレーザが発生しやすい。従って、従来においては、かかる問題を解決するために、逆メサリッジ導波型レーザダイオードを制作するようにしている。

【0005】 図7は、従来における逆メサリッジ導波型レーザダイオードの断面図を示す図である。図に示すように、N型基板11上にN型バッファ層12、活性層13、P型導波層14、エッチング停止層15、P型クラッド層16及びP型コンタクト層17がMOCVD技術によって順次形成される。前記Pコンタクト層17及びPクラッド層16が逆メサ状にエッチングされて逆メサリッジが形成される。保護膜として作用する酸化膜20が逆メサリッジの上部表面が露出するように基板上に均一に形成される。逆メサリッジ両側のエッチング部位には、ポリイミド (polyimide) 層19が充填される。露出

された逆メサリッジの上部とコンタクトするように、基板上にP型オーミック金属層18が均一に形成され、N型基板11の下面にN型オーミック金属層21が形成される。

【0006】 図7に示すようなレーザダイオードでは、リッジを逆メサ状に形成することによって導波路の幅が狭くなるために、単一モードのレーザを発生させることが可能である。また、リッジ上部の幅が広いために、コンタクト抵抗が減少し、且つ直列抵抗も減少する。しかし、前記のように、導波路の幅を狭くしながらリッジ上部の幅を広くするためにはPクラッド層16が厚ければ厚いほど容易になる。従って、図7に示すレーザダイオードは、PBH (Planar Buried Heterostructure) レーザダイオードに比べて比較的大きい直列抵抗をもつ。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 以上のように、本発明の目的は、単一モードのレーザを容易に発生させることができるとともに、コンタクト抵抗及び直列抵抗を減少させることのできるレーザダイオードを提供することにある。また、本発明の他の目的は、前記レーザダイオードの製造方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために本発明によるレーザダイオードは、上面と前記上面の反対方に下面とを有する第1導電型化合物半導体基板と、前記基板の上面に順次形成された第1導電型バッファ層、活性層及び第2導電型導波層と、前記導波層上に形成され、所定の幅をもつ第2導電型導波路制御層と、前記導波路制御層の幅より下部幅の広い逆メサリッジ形状を有するとともに前記導波路制御層上に順次積層された第2導電型クラッド層及び第2導電型コンタクト層とを備える構成とし、前記逆メサリッジ上部の前記コンタクト層を露出させつつ、前記逆メサリッジを保護するために前記基板上に形成された保護膜と、前記逆メサリッジの両側部位を充填するために前記保護膜上に形成されたポリイミド層と、前記コンタクト層の露出された部分とコンタクトしつつ、前記基板上に形成された第2導電型オーミック金属層と、前記基板の下面に形成された第1導電型オーミック金属層とをさらに備える構成とするものである。

【0009】 また、前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.3  $\mu\text{m}$ の発振波長を有し、前記化合物半導体基板は、 $\text{N}^+ - \text{InP}$ 層であり、前記バッファ層は $\text{N} - \text{InP}$ 層であり、前記活性層は $\text{U} - \text{InGaAsP}$ 層であり、前記導波層は $\text{P} - \text{InP}$ 層であり、前記導波路制御層は $\text{P} - \text{InGaAsP}$ 層であり、前記クラッド層は $\text{P} - \text{InP}$ 層であり、前記コンタクト層は $\text{P}^+ - \text{InGaAs}$ 層であり、前記導波路制御層の物質波長は1.1  $\mu\text{m}$ 乃至1.3  $\mu\text{m}$ であり、前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.55  $\mu\text{m}$ の発振波長を有し、前

記導波路制御層はInGaAsP層であり、その物質波長は1.3 $\mu$ m乃至1.55 $\mu$ mであり、前記基板はGaAs系列であり、前記導波路制御層は前記活性層より低い屈折率と高いバンドギャップエネルギーをもつ物質である構成とするものである。

【0010】また、上面と前記上面の反対方に下面とを有する第1導電型化合物半導体基板の上面に、第1導電型パッファ層、活性層、第2導電型導波層、第2導電型導波路制御層、第2導電型クラッド層及び第2導電型コンタクト層を順次形成する段階と、前記コンタクト層及びクラッド層をエッチングして上部及び下部が所定の幅をもつ逆メサリッジを形成する段階と、前記逆メサリッジ下部の幅より狭い幅をもつように前記導波路制御層を選択的にエッチングする段階とを含むことを特徴とし、前記逆メサリッジを保護するために前記基板上に保護膜を形成する段階と、前記逆メサリッジの両側のエッチング部位を充填するように逆メサリッジの両側の保護膜上にポリイミド層を形成する段階と、前記逆メサリッジ上部の前記コンタクト層が露出されるように前記保護膜を一部除去する段階と、前記コンタクト層の露出された部分とコンタクトするように前記基板上に第2導電型オーミック金属層を形成する段階と、前記基板の下面に第1導電型オーミック金属層を形成する段階とをさらに備えることを特徴とするものである。

【0011】また、前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.3 $\mu$ mの発振波長をもち、前記化合物半導体基板はN<sup>+</sup>-InP層であり、前記パッファ層はN-InP層、前記活性層はU-InGaAsP層、前記導波層はP-InP層、前記導波路制御層はP-InGaAsP層、前記クラッド層はP-InP層、前記コンタクト層はP<sup>+</sup>-InGaAs層から形成されるとともに、前記導波路制御層の物質波長は1.1 $\mu$ m乃至1.3 $\mu$ mであることを特徴とするものである。

【0012】また、前記逆メサリッジを形成する段階において、前記コンタクト層のエッチングはH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いたウェットエッチングで進行し、前記逆メサリッジを形成する段階において、前記クラッド層のエッチングはHBrとH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いたウェットエッチングで進行し、前記基板はInP系列であり、前記活性層は1.55 $\mu$ mの発振波長をもつことを特徴とし、前記導波路制御層はInGaAsPであり、その物質波長は1.3 $\mu$ m乃至1.55 $\mu$ mであり、前記基板はGaAs系列であり、前記導波路制御層は前記活性層より低い屈折率と高いバンドギャップエネルギーをもつ物質であることを特徴とするものである。

【0013】以上のように本発明によれば、導波層上に形成された導波路制御層によって導波路の幅が選択的に調節されるために、逆メサリッジの上部及び下部の幅が充分広く形成される。従って、単一モードのレーザを容

易に発生させることができ、コンタクト抵抗及び直列抵抗が減少する。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の一実施の形態を説明する。図1～図5は、本発明の一実施の形態による逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。本実施の形態によるレーザダイオードは、1.3 $\mu$ mの発振波長を有するInP系列である。

【0015】図1に示すように、上面31aと、下面31bとを有するN<sup>+</sup>-InP基板31の上面31aに、N-InPパッファ層32を形成し、このN-InPパッファ層32上に、発振波長が1.3 $\mu$ mであるU-InGaAsP活性層33を形成する。次いでこのU-InGaAsP活性層33上に、P-InP導波層34を形成し、このP-InP導波層34上に、P-InP導波層34の導波路の幅を選択的に調節するためのP-InGaAsP導波路制御層35を形成する。ここで、P-InGaAsP導波路制御層35はInP系列の層であり、発振波長が1.3 $\mu$ mである場合、その物質波長は1.1 $\mu$ m乃至1.3 $\mu$ mの短波長をもつ。その後、P-InGaAsP導波路制御層35上にP-InPクラッド層36とP<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37を順次形成する。ここで、前記化合物半導体層はMOCVD技術によって形成される。

【0016】図2に示すように、逆メサリッジ形成のためのエッチング時にマスクとして作用するように、P<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37上にシリコン酸化膜パターン38が形成される。図3に示すように、シリコン酸化膜パターン38をマスクとして用いるウェットエッチングによってP<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37が選択的にエッチングされる。ここで、ウェットエッチングは、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いて行われる。次に、P<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37の下部のP-InPクラッド層36が、HBrとH<sub>2</sub>Oとの混合溶液を用いたウェットエッチングによって選択的にエッチングされて逆メサリッジが形成される。その後、P-InGaAsP導波路制御層35が、P-InPクラッド層36の下面より狭い幅をもつように選択的にエッチングされる。

【0017】ここで、P-InGaAsP導波路制御層35の幅は、単一モードのレーザが発生可能なように充分に狭い。即ち、P-InGaAsP導波路制御層35によって導波路の幅が選択的に調節されるために、導波路の幅に関係なく、逆メサリッジの形成時にリッジの上部及び下部の幅を広く形成することが容易になる。その後、シリコン酸化膜パターン38が公知の方法によって図4に示すように除去される。

【0018】図4を参照して、前記逆メサリッジを保護するように基板上に保護膜39が形成される。この保護

7

膜39はシリコン酸化膜である。次いで、逆メサリッジ両側のエッチング部位を充填するように逆メサリッジ両側の保護膜39上にポリイミド層40が形成される。逆メサリッジ両側のエッチング部位がポリイミド層40で充填されることにより、以後に形成されるP型オーミック金属層との切れが防止される。その後、逆メサリッジ上部のP<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37が露出するように保護膜39が除去される。

【0019】図5に示すように、P<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層37の露出された部分とコンタクトするように基板上にP型オーミック金属層41が形成される。P型オーミック金属層41は、Ti膜とPt膜とAu膜との積層膜と、この積層膜上に形成されるAu鍍金(Plating)層とからなる。その後、N<sup>+</sup>-InP基板31の下面にN型オーミック金属層42が形成される。N型オーミック金属層は、AuGe膜とNi膜とAu膜との積層膜と、この積層膜上に形成されるAu鍍金層とからなる。

【0020】以上の実施の形態では、1.3μmの発振波長をもつInP系列のレーザダイオードについて説明したが、発振波長が1.55μmである場合、またはGaAs系列のレーザダイオードの場合にも適用することができる。ここで、発振波長が1.55μmの場合、導波路制御層は物質波長1.33μmのInGaAsP層で形成されるか、或いは1.55μmより小さい短波長をもつInGaAsP層で形成される。また、GaAs系列のレーザダイオードの場合、導波路制御層は活性層より低い屈折率をもち且つ活性層より高いバンドギャップエネルギーをもつ物質で形成される。

【0021】なお、本発明は前記実施の形態に限定されず、本発明の技術思想を外れない範囲内において多様に変形して実施することができるのは当然である。

#### 【0022】

【発明の効果】以上説明のように本発明によれば、P-InP導波層36上に形成されたP-InGaAsP導波路制御層37によって導波路の幅が選択的に調節されるために、逆メサリッジの上部及び下部の幅が充分広く形成される。従って、単一モードのレーザを容易に発生

8

させることができるとともに、コンタクト抵抗及び直列抵抗が減少する。これにより、レーザダイオードの動作時に発熱が減少して高出力化が可能となる。また、高温における動作が可能であるため、使用可能な温度範囲が拡大し、周波数特性が優秀になり、しきい値電流も低くなることにより、レーザダイオードの信頼性が向上する等の優れた効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。

【図2】本発明に係る逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。

【図3】本発明に係る逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。

【図4】本発明に係る逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。

【図5】本発明に係る逆メサリッジ導波型レーザダイオードの製造方法を説明するための断面図である。

【図6】従来の正メサリッジ導波(Forward Mesa Ridge Waveguide)型レーザダイオードを示す断面図である。

【図7】従来の逆メサリッジ導波(Reverse Mesa Ridge Waveguide)型レーザダイオードを示す断面図である。

#### 【符号の説明】

31・・・N<sup>+</sup>-InP基板

31a・・・上面

31b・・・下面

32・・・N-InPバッファ層

33・・・U-InGaAsP活性層

34・・・P-InP導波層

35・・・P-InGaAsP導波路制御層

36・・・P-InPクラッド層

37・・・P<sup>+</sup>-InGaAsコンタクト層

38・・・シリコン酸化膜パターン

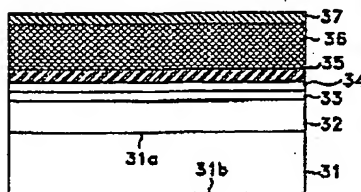
39・・・保護膜

40・・・ポリイミド層

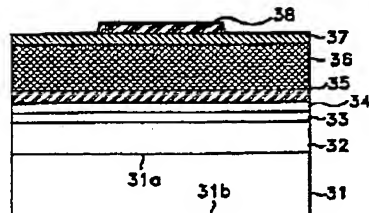
41・・・P型オーミック金属層

42・・・N型オーミック金属層

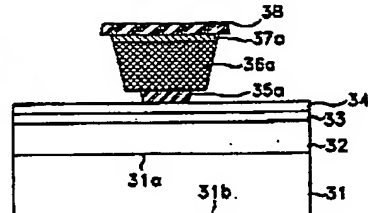
【図1】



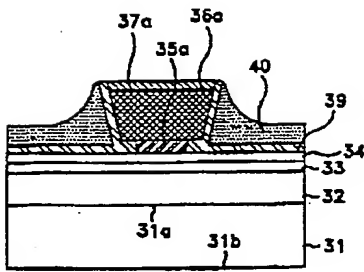
【図2】



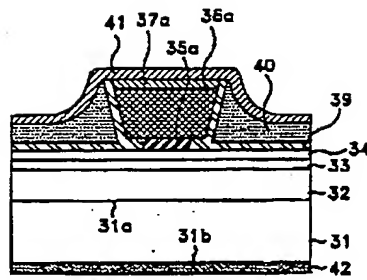
【図3】



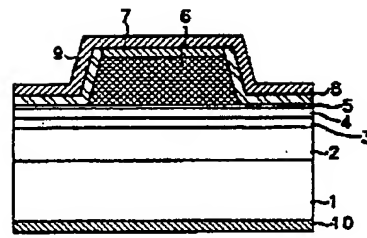
【図4】



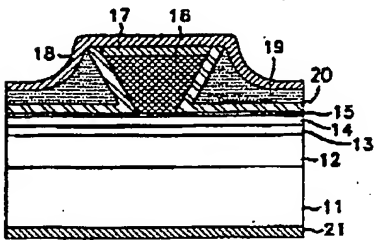
【図5】



【図6】



【図7】



BEST AVAILABLE COPY